

# ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ СТАРЕНИИ

**Варнак О.В.**

*Руководитель- профессор, д-р техн. наук Смирнов М.А.*  
ОАО Российский научно-исследовательский институт трубной  
промышленности  
[mushina@rosniti.ru](mailto:mushina@rosniti.ru)

Исследовано деформационное старение низкоуглеродистой трубной стали 06Г2ФБ с феррито-перлитной и феррито-бейнитной структурой. Выполнено сравнение механических свойств до и после холодной пластической деформации, осуществляемой растяжением и прокаткой, с последующим низкотемпературным нагревом. Установлено, что большей склонностью к деформационному старению обладает сталь с исходной феррито-бейнитной структурой.

В настоящее время возникает необходимость эксплуатации магистральных трубопроводов в районах вечной мерзлоты, в зонах с сейсмической активностью и зонах активных тектонических разломов. При длительной эксплуатации эти условия могут приводить к значительному упрочнению и охрупчиванию стали в связи с протеканием процессов деформационного старения [1]. Деформационное старение также может происходить после процессов формовки, экспандирования и последующего нанесения антикоррозионного покрытия. Для магистральных трубопроводов все чаще используются высокопрочные трубы с феррито-бейнитной структурой, для которых еще недостаточно полно изучены закономерности деформационного старения.

Заготовки из стали 06Г2ФБ сечением 12,5x12,5 мм, вырезанные из трубы вдоль направления прокатки горячекатаного листа, подвергали нагреву на 1000°C. Охлаждение заготовок осуществляли со средними скоростями 1 и 35 °C /с в интервале 800 – 300 °C.

При охлаждении со скоростью 1 °C /с формируется феррито-перлитная структура, содержащая 90 % полигонального феррита, в структуре также присутствует вырожденный перлит (5 %), небольшое количество кристаллов игольчатого бейнита (4 %) и одиночные островки мартенсито-аустенитной составляющей (МА). После охлаждения со скоростью 35 °C/с в структуре в основном наблюдается бейнитная составляющая (90 %). При бейнитном превращении формируется игольчатый бейнит (73 %) и небольшое количество реечного бейнита (15 %) и глобулярного бейнита (2 %). В бейнитной составляющей также присутствует МА-составляющая. Объемная доля полигонального феррита не превышает 10 %.

Склонность к деформационному старению оценивали после пластической деформации, осуществляемой растяжением на 3 % и прокаткой

на 5 %, с последующим одночасовым нагревом на 250 °С, рекомендованного ГОСТ 7268 – 82.

При деформации растяжением с последующим нагревом на 250 °С о склонности к деформационному старению возможно судить двумя способами: по величине  $\Delta\sigma$ , равной изменению предела текучести после деформационного старения по сравнению с напряжением, соответствующим деформации; а также по изменению свойств полученных после растяжения и нагрева по сравнению с исходным состоянием [2, 3].

Деформация растяжением на 3% с нагревом на 250 °С привели к значительному упрочнению стали: для феррито-перлитной структуры  $\Delta\sigma$  составило 72 МПа, а для феррито-бейнитной 100 МПа. Кроме того, у образцов с феррито-перлитной структурой увеличилась длина площадки текучести от 1,8 % до 3,2 %. На кривой растяжения образцов с феррито-бейнитной структурой появилась площадка текучести длиной 2,8 %, которая в исходном состоянии отсутствовала.

Если сравнивать свойства после растяжения и нагрева с исходным состоянием, то наблюдаются более значительные изменения прочности (таблица 1). При таком сравнении также видно, что наряду с упрочнением стали ощутимо снижается общее и равномерное относительное удлинение.

Таблица 1 – Механические свойства стали 06Г2ФБ

Механические свойства	До деформационного старения	Деформация + нагрев 250 °С, 1 ч.	
		Растяжение 3%	Прокатка 5%
$\sigma_{0,2}$ ( $\sigma_T$ ), МПа	<u>(369)</u> 568	<u>(517)</u> (821)	<u>494</u> 838
$\sigma_B$ , МПа	<u>481</u> 765	<u>546</u> 835	<u>553</u> 893
$\delta$ , %	<u>28,5</u> 18,8	<u>22,5</u> 16,5	<u>22,0</u> 15,5
$\delta_{равн}$ , %	<u>18,0</u> 7,2	<u>9,3</u> 5,0	<u>11,0</u> 5,8
$\psi$ , %	<u>81</u> 82	<u>80</u> 79	<u>81</u> 79
$\sigma_{0,2}/\sigma_B$	<u>0,77</u> 0,74	<u>0,95</u> 0,98	<u>0,89</u> 0,94
КСУ <sup>+20°С</sup> , Дж/см <sup>2</sup>	<u>360</u> 333	-	<u>345</u> 311
КСУ <sup>-60°С</sup> , Дж/см <sup>2</sup>	<u>356</u> 349	-	<u>338</u> 242
T <sub>50</sub> , °С	<u>-85</u> -110	-	<u>-75</u> -70

Примечание: 1) В числителе свойства стали при феррито-перлитной структуре, а в знаменателе при феррито-бейнитной; 2) В скобках указан физический предел текучести.

Деформация прокаткой на 5% с одночасовым нагревом на 250 °С приводит к повышению пределов текучести и прочности, а также к снижению общего и равномерного относительного удлинения. Уровень

свойств образцов, подвергнутых прокатке на 5% перед нагревом, близок к уровню свойств, достигаемых растяжением на 3%.

Деформационное старение оказывает значительное влияние на изменение ударной вязкости при отрицательных температурах и смещает температуру вязко-хрупкого перехода в сторону более высоких температур (таблица 1). Для феррито-бейнитной структуры данный эффект более ощутим, чем для феррито-перлитной структуры.

Вышеприведенные данные свидетельствуют, что низкоуглеродистая сталь 06Г2ФБ обладает достаточно высокой склонностью к деформационному старению. Развитие деформационного старения сопровождается значительным ростом пределов текучести и прочности, ощутимым снижением общего и равномерного удлинения и повышением температуры вязко-хрупкого перехода  $T_{50}$ .

При наличии исходной феррито-бейнитной структуре, основной структурной составляющей, которой является игольчатый бейнит, деформационное старение получает большее развитие, чем при феррито-перлитной структуре.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Ливанова, О.В. Деградация свойств металлов при длительной эксплуатации трубопроводов / О.В. Ливанова, Г.А. Филиппов, В.Ф. Дмитриев // Сталь. – 2003. – №2. – С. 84 – 87.

2. Гуль, Ю.П. Влияние углерода и азота на упрочнение и охрупчивание при старении малоуглеродистой стали / Ю.П. Гуль// Металловедение и термическая обработка металлов. – 1975. – №7. – С. 8 – 12.

3. Бабич, В.К. Деформационное старение стали / В.К. Бабич, Ю.П. Гуль, И.Е. Долженков. – М: Металлургия, 1972. –320 с.